

реакций: Материалы совещания по механизму ингибирования цепных газовых реакций. – Алма-Ата, 1971. – С. 90-101.

8. Янговский С.А., Шварцман Н.А., Порсов М.И. Влияние ингибиторов на нормальную скорость и спектральные характеристики предварительно перемешанного пропано-воздушного пламени // Проблемы горения и тушения. Ч. II. Пожарная техника и тушение пожаров: Материалы II Всесоюз. науч.-техн. конф. – М.: ВНИИПО, 1974. – С.19-32.

*Отримано 04.03.2004*

УДК 614.8

В.М.СТРИЛЕЦЬ, канд. техн. наук, П.Ю.БОРОДИЧ

*Академія цивільного захисту України, м.Харків*

В.Г.ІВАНОВ, канд. техн. наук

*Харківський національний університет радіоелектроніки*

### **ІМІТАЦІЙНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЖЕЖЕГАСІННЯ НА СТАНЦІЯХ МЕТРОПОЛІТЕНУ**

Показано можливість дослідження процесу пожежегасіння на станціях метрополітену за допомогою імітаційного моделювання, яке доцільно виконувати за допомогою апарата Е-мереж. Наведено модель початкового етапу гасіння пожежі і рятування людей на станціях метрополітену, а також розроблені рекомендації з організації цих робіт.

Станції метрополітену – це найскладніші в оперативно-тактичному відношенні об'єкти. Гасіння розвинених пожеж на них сполучено з великою кількістю організаційно-технічних заходів, зв'язаних зі зняттям напруги і допуском підрозділів на об'єкт, димовилучення з усіх споруд. Бойові дії по гасінню ускладнюються значним віддаленням підземних об'єктів від поверхні, труднощами в організації зв'язку, задимлення, можливим виходом з ладу кабельних комунікацій, висвітлення, тунельної вентиляції, ескалаторів, пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів та ін. Прикладом служить пожежа, яка сталася навесні 2003 р. в метрополітені південнокорейського міста Тегу. Чоловік підпалив пакет з горючою рідиною та кинув його в вагон. Коли на місце трагедії прибули рятувальники, станція метрополітену була заповнена токсичним газом, що значно ускладнило рятувальні операції. Пожежа була ліквідована лише через 3 години. На пожежі загинуло 134 особи, ще 140 чоловік отримали опіки та травми різного ступеня важкості.

Дії по гасінню пожеж на станціях метрополітенів регламентуються відповідними нормативними документами [1], в яких поряд з діями пожежних розглядаються також питання їхньої взаємодії з адміністрацією об'єкта. Так, для керівництва аварійно-рятувальними роботами створюється штаб на чолі з одним із керівників метрополітену, куди включаються представники пожежно-рятувальної служби. Допуск під-

розділів на станції метрополітену дозволяється після зняття напруги з усіх електроустановок, що знаходяться на ній, і пред'явлення письмового підтвердження про це.

Таким чином, підвищення ефективності дій пожежно-рятувальних підрозділів, персоналу метрополітену і створюваних органів керування пожежегасіння є актуальною проблемою. Її рішення вимагає аналізу великої кількості взаємозалежних проміжних робіт, що забезпечують гасіння, евакуацію і рятування (при необхідності) потерпілих.

У роботах [2, 3] показано, що сукупність цих дій представляє складну динамічну керовану систему, дослідження якої доцільно робити за допомогою відповідної імітаційної моделі. Це обумовлено тим, що організація навіть одного повномасштабного дослідного пожежно-тактичного навчання в умовах діючого метрополітену сполучена зі значними складностями. Практика проведення таких навчань показує, що вони проводяться при значному спрощенні обстановки і дають достовірні дані лише по окремих видах бойової роботи [4]. Повні дані про часові характеристики функціонування динамічної системи можуть бути отримані на підставі великого числа експериментів при різних вихідних даних. Головною перевагою імітаційних моделей є можливість багаторазового відтворення окремих реалізацій процесу з наступною статистичною обробкою одержаного матеріалу.

У роботах [5, 6] для аналізу діяльності особового складу пожежно-аварійних підрозділів використовуються мережні моделі. Однак, у розглядаємому випадку їх застосувати не можна, оскільки присутні замкнуті цикли (постійна зміна ланок газодимозахистної служби (ГДЗС)), тупики (штаб пожежегасіння працює, а керівництво метрополітену може прибувати аж до повної ліквідації, хоча воно включається в роботу штабу), умовні переходи (для зняття напруги з контактної рейки повинна бути подана заявка, знання співробітниками метрополітену інструкції з дій на випадок пожежі та ін.).

Підхід з використанням мереж Петрі в класичному виді, наведений у [3], спирається на представлення про те, що окрема операція є результатом виконання конкретного ряду умов, кожне з яких повинно бути обов'язково виконано. В свою чергу ця операція породжує ряд нових умов і так далі. У той же час, у процесі гасіння пожежі на станції метрополітену необхідні операції реалізуються як при виконанні повного набору умов, так і при невиконанні, чи неповному виконанні деяких з них (всі ескалатори повинні бути включені на підйом для того, щоб прискорити швидкість евакуації людей, однак навіть якщо вони будуть відключені, люди зможуть евакуюватися). При цьому для

оцінки часових характеристик усього процесу в цілому використовувалися лише мінімальні і максимальні значення окремих операцій, по яких і розраховується очікувана тривалість усього комплексу робіт.

Відзначені недоліки можуть бути усунуті за допомогою апарата *E*-мереж [7], що складається з чотирьох елементів: безлічі позицій *P*, безліч переходів *T*, вхідних функцій *I*, і вихідних функцій *O*. Вхідна функція *I* відображає перехід  $t_j$  у безліч позицій  $I(t_j)$ , які називають вхідними позиціями переходу. Вихідна функція *O* відображає перехід  $t_j$  у безліч позицій  $O(t_j)$ , які називають вихідними позиціями переходу. Таким чином, актуальним науковим завданням, розв'язання якого дозволить розробити обґрунтований комплекс організаційно-технічних заходів щодо забезпечення ефективності пожежегасіння на станціях метрополітену, є розробка на основі використання апарату *E*-мереж імітаційної моделі цього процесу.

Характерною рисою апарата *E*-мереж є введення додаткових елементів, що представляють собою макропозиції. Останні являють собою деякі мережі, які на верхньому рівні можна розглядати як прості позиції. Однією з найважливіших макропозицій, що вводяться в *E*-мережі, є генератор, що являє собою крайову некінцеву позицію мережі, яка забезпечує появу маркерів у часі відповідно до якогонебудь закону. У [8] показано, що можна застосовувати як постійну періодичну генерацію, так і генерації, засновані на будь-яких законах випадкового розподілу (рівномірного, нормального, експонентному, Пуассона, Ерланга...). Однак на практиці виявилось, що статистичне імітаційне моделювання пожежегасіння на станціях метрополітену сполучено з рядом проблем, які зв'язані, у першу чергу, із законом розподілу тимчасових характеристик тих операцій, що складають розглянутий процес, а саме  $\beta$ -розподілом.

Виявилось, що існуючі пакети прикладних програм [9], які забезпечують функціонування *E*-мереж, не працюють з показниками, що описуються  $\gamma$ , а відповідно і  $\beta$ -розподілами. У той же час в [4, 10] було показано, що час виконання, як окремих операцій усього розглянутого процесу, так і деяких часток часових показників, що впливають на ефективність бойової роботи (наприклад, легеневої вентиляції), досить адекватно може бути описане за допомогою  $\beta$ -розподілу. Відмовитися від останнього не представляється можливим, оскільки частина вихідних даних для розробленої імітаційної моделі знаходиться за допомо-

гою використання методу експертних оцінок, в основі якого лежить саме опора на  $\beta$ -розподіл [11].

У зв'язку з цим були проаналізовані отримані розподіли [4, 10] тимчасових показників, що характеризують виконання окремих операцій бойової роботи. Аналіз отриманих результатів дозволяє припустити, що вони можуть бути описані за допомогою зміщеного розподілу Ерланга, оскільки:

- числові значення розглянутих показників обмежені знизу, що може бути пояснено наявністю граничних можливостей людини, але при цьому можуть продовжуватися і необмежено довго;
- час виконання операції може прийняти будь-яке значення в інтервалі  $[t_{\min}, \infty]$ , тобто є безупинною випадковою величиною;
- серед комплексу операцій, що виконуються особовим складом, можуть зустрічатися такі, час виконання яких залежить від великого числа випадкових факторів, кожний з яких окремо є малоістотним, а також операції, на час виконання яких впливає невелике число важливих факторів.

Перша особливість вимагає, щоб закон розподілу був усіченим на інтервалі  $[t_{\min}, \infty]$ , друга – безперервності закону розподілу, а третя – вимагає, щоб закон розподілу був таким, при якому найбільш ймовірне значення часу виконання роботи могло б розташовуватися в будь-якій місці інтервалу  $[t_{\min}, t_{\max}]$ . Цим вимогам задовольняє зміщений розподіл Ерланга

$$f(t) = t_{\min} + \mu \cdot \frac{[\mu \cdot (t - t_{\min})]^r}{r!} \cdot e^{-\mu(t - t_{\min})}, \quad (1)$$

де  $\mu$  – параметр закону Ерланга,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $r$  – порядок закону Ерланга.

Виходячи з того, що до основних властивостей розподілу Ерланга [12] відносяться наступні співвідношення, які встановлюють залежність дисперсії  $D(X)$  і математичного чекання з параметром  $\mu$  і порядком  $r$  закону Ерланга,

$$D(X) = \frac{r + 1}{\mu^2}; \quad (2)$$

$$M(X) = \frac{r + 1}{\mu}, \quad (3)$$

були знайдені параметри  $\mu$  і  $r$  для всіх розподілів, отриманих експериментально.

Перевірка того, що розбіжності між емпіричними й отриманими теоретичними розподілами є випадковими, була виконана за допомогою критерію Романовського

$$R = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2k}}, \quad (4)$$

де  $k = n - 2$  – число ступенів волі;  $n$  – число груп, по яких виробляється порівняння;  $\chi^2$  – критерій Пірсона.

Отримані результати показали, що величина критерію Романовського для всіх розподілів, які були одержані експериментально, при їхньому порівнянні з теоретичними, представленими у вигляді (1), по своєму абсолютному значенню менше трьох. Це дозволило зробити висновок [12] про те, що для отриманих розподілів часу виконання окремих операцій модель зміщеного закону розподілу Ерланга є прийнятною для практичного використання.

Аналогічно були розраховані параметри зміщеного розподілу Ерланга і для тих випадків, коли оцінки часу виконання окремих операцій пожежегасіння на станціях метрополітену були отримані за допомогою експертів. Однак цьому етапу передувало декілька інших. Так, спочатку кожний з експертів указував прогностні значення найбільш ймовірного  $\tilde{t}_j$ , мінімального  $t_{j \min}$  і максимального  $t_{j \max}$  часу виконання  $j$ -ї операції. Величина  $\tilde{t}_j$  розглядалася як мода розподілу часу виконання  $j$ -ї операції. Після цього знаходилися середньозважені прогностні оцінки [13], що і використовувалися далі.

У роботі [4] була показана і можливість опису часу виконання окремої операції за допомогою  $\beta$ -розподілу, для якого відомо [14], що його мода дорівнює

$$\tilde{x} = \frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2}. \quad (5)$$

Математичне очікування статистичної випадкової величини по цьому розподілі

$$\bar{x} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}, \quad (6)$$

а дисперсія

$$D(x) = \frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)}. \quad (7)$$

З огляду на те, що для одновершинних розподілів середньоквад-  
ратичне відхилення зразкове дорівнює 1/6 інтервалу, на якому воно  
розглядається, тобто

$$G_j \approx \frac{t_{j \max} - t_{j \min}}{6}, \quad (8)$$

шляхом рішення системи рівнянь (6)-(8) знаходять  $\alpha$  і  $\beta$  параметри  
розподілу

$$\beta(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dy. \quad (9)$$

Перевірка за (4) підтвердила працездатність  $\beta$ -розподілу. Для пе-  
реходу від цього розподілу до розподілу Ерланга використовувалося  
модельовання на ЕОМ часу виконання розглянутої операції шляхом  
обчислення  $F^{-1}$  зворотної функції  $\beta$ -розподілу й одержання відповід-  
ної безлічі значень

$$\{t_y = F^{-1}(y, \alpha_y, \beta_y, \tilde{t}_{y \max}, \tilde{t}_{y \min})\}, \quad (10)$$

де  $y$  – одне з безлічі чисел, розподілених рівномірно на діапазоні  
[0;1].

Використовуючи (2)-(3), обробка експертних оцінок у вигляді  
безлічі  $\{t_y\}$  дозволила після відповідної перевірки за (4) їх також  
представити у вигляді (1).

Імітаційна модель початкового етапу робіт з рятування потерпі-  
лих і гасінню пожежі на станціях метрополітену з використанням апа-  
рата  $E$ -мереж представлена на рисунку. Початковим є подія «Пожежа  
виявлена», закінчується модель подією «Надання медичної допомоги  
потерпілим, врятованим у вестибулі станції і на ескалаторі». Уся мо-  
дель являє собою ряд послідовно-рівнобіжних подій і умов. Зміст де-  
яких з них наведено в таблиці. Умовно модель розбита на чотири ос-  
новних взаємозалежних блоки, які можна характеризувати наступним  
чином:

- евакуація і рятування пасажирів. До цього блоку входять, на-  
приклад, такі події як: машиніст повідомляє пасажирам по гучномов-  
ному зв'язку про їхні подальші дії  $t_4$ , евакуація пасажирів  $t_{11}$ , рятуван-  
ня людей у вестибулі станції і на ескалаторі  $t_{21}$ , винос потерпілих на  
свіже повітря  $t_{23}$ , надання медичної допомоги постраждалим  $t_{26}$ . Умо-  
вами для їхнього виконання будуть: знання машиністом інструкції з  
дій на випадок пожежі  $p_4$ , відсутність великої температури  $p_7$  і велико-

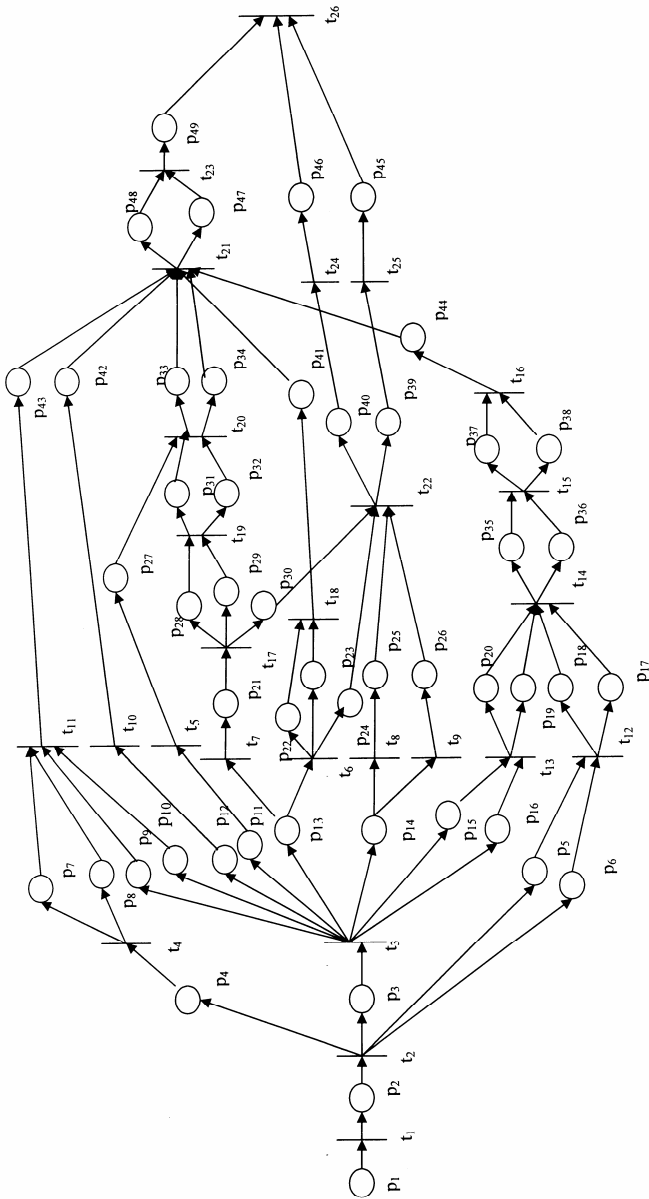
го задимлення  $p_8$  на шляхах евакуації, інформація про те, що залишилися неевакуйовані пасажирів  $p_{43}$ , а в апаратах достатня кількість повітря  $p_{47}$ ;

- робота підрозділів пожежно-рятувальної служби (виклик  $t_7$  пожежно-рятувальної служби, прибуття пожежно-рятувальної служби  $t_{17}$ , включення пожежних в апарати на стисненому повітрі  $t_{19}$ , рух ланки ГДЗС  $t_{20}$  до місця бойової роботи, рятування людей у вестибулі станції і на ескалаторі  $t_{21}$ , внос потерпілих на свіже повітря  $t_{23}$ , надання медичної допомоги постраждалим  $t_{26}$ ...). Умовами для виконання подій будуть: інструкція дій на випадок пожежі  $p_{13}$ , швидкий збір і проходження  $p_{21}$  до місця пожежі, проведення бойової перевірки  $p_{29}$ , організація посту безпеки  $p_{32}$ , достатня кількість повітря  $p_{33}$  в апаратах, інформації про те, що пожежні знайшли потерпілих  $p_{48}$ ;

- створення штабу пожежегасіння вимагає оповіщення керівного складу метрополітену  $t_6$ , виклику пожежно-рятувальної служби  $t_7$ , горнорятівників  $t_8$ , технічної служби метрополітену  $t_9$ , прибуття пожежно-рятувальної служби  $t_{17}$ ...Ці події не можуть бути виконані без наявності інструкції з дій на випадок пожежі  $p_{13}$ , надходження команди від керівника  $p_{14}$ , прибуття всіх служб  $p_{24}$ ,  $p_{25}$ ,  $p_{26}$ ...;

- гасіння пожежі співробітниками метрополітену включає гасіння машиністом пожежі вогнегасником з кабіни  $t_{12}$ , черговими по станції пожежі порошковими вогнегасниками  $t_{13}$ , прокладка  $t_{14}$  рукавів від пожежного крана (ПК), подача стовбура  $t_{15}$  від ПК до вогнища пожежі співробітниками метрополітену, команда  $t_{16}$  персоналу залишити станцію. Умовами для виконання цих подій будуть: наявність робочих вогнегасників і уміння співробітників користатися ними  $p_5$ ,  $p_6$ ,  $p_{15}$ ,  $p_{16}$ , інформація про те, що пожежа вогнегасниками не погашена  $p_{17}$ ,  $p_{19}$ , уміння працівників метрополітену прокладати рукавні лінії і з'єднувати пожежні голівки  $p_{35}$ ,  $p_{36}$ ... .

Використовуючи запроповану модель, розраховувалися як час виконання окремих операцій, так і час реалізації комплексу дій. Вірогідність отриманих результатів було перевірено під час навчань, які проходили в м.Харкові на станції метро «Південний вокзал». Так, розрахунковий час прибуття перших пожежних підрозділів складає 10-25 хв., а під час навчань перші пожежні підрозділи прибули через 15 хв. Перша ланка ГДЗС за розрахунковими результатами входить у задимлене приміщення через 2,7-5,3 хв., а на навчаннях вона ввійшла через 3,2 хв. після прибуття пожежних автомобілів.



Імітаційна модель початкового етапу робіт з рятівання потерпілих і гасінню пожежі на станціях метрополітену



Зміст подій і умов

$t_j$	Відповідна подія	$p_j$	Відповідна умова
$t_1$	пожежа виявлена	$p_1$	виникнення пожежі
$t_2$	повідомлення машиністу про пожежу	$p_2$	наявність зв'язку
$t_3$	машиніст передає повідомлення диспетчеру	$p_4$	знання машиністом інструкції при пожежі
$t_4$	машиніст повідомляє пасажиром про їхні дії	$p_5$	наявність робочих вогнегасників
$t_5$	зняття напруги	$p_6$	уміння користатися вогнегасником
$t_6$	оповіщення керівного складу метрополітену	$p_7$	відсутність великої температури
$t_7$	виклик ПО	$p_8$	відсутність задимлення
$t_8$	виклик гірнорятівників	$p_9$	необхідно допомогти людям
$t_9$	виклик технічної служби метрополітену	$p_9$	команда від керівника
$t_{10}$	команда машиністам інших потягів зупинятися	$p_{17}$	пожежа машиністом не погашена
$t_{11}$	евакуація пасажирів	$p_{18}$	закінчення заряду в вогнегаснику
$t_{12}$	гасіння машиністом пожежі	$p_{19}$	пожежа не погашена
$t_{13}$	гасіння черговими пожежі вогнегасниками	$p_{21}$	швидкий збір і проходження до місця пожежі
$t_{14}$	прокладка рукавів від ПК	$p_{22}$	справність вентиляції
$t_{15}$	подача стовбура від ПК	$p_{27}$	видача допуску
$t_{16}$	команда черговому персоналу залишити станцію	$p_{28}$	вдягання апаратів по прибуттю
$t_{17}$	прибуття ПО	$p_{29}$	проведення бойової перевірки
$t_{18}$	включення аварійного режиму вентиляції	$p_{33}$	достатня кількість повітря в апаратах
$t_{19}$	включення працівників ПО в АСВ-2	$p_{34}$	підготовленість особового складу ПО
$t_{20}$	вхід ланки ГДЗС	$p_{36}$	уміння працювати зі стовбуром
$t_{21}$	рятування людей у вестибулі станції і на ескалаторі	$p_{37}$	велике задимлення
$t_{22}$	створення штабу пожежегасіння	$p_{38}$	висока температура
$t_{23}$	винос потерпілих	$p_{41}$	зниження задимлення
$t_{24}$	виклик швидкої допомоги	$p_{43}$	неевакуйовані пасажирів
$t_{25}$	виклик ДАІ	$p_{47}$	в апаратах вистачило повітря
$t_{26}$	надання медичної допомоги потерпілим	$p_{48}$	пожежні знайшли потерпілих

Крім того, отримані результати вже зараз можуть використовуватися для обґрунтування практичних рекомендацій. Наприклад, зважаючи на те, що система вентиляції метрополітену на навчаннях реально не справилася з видаленням диму із станції в тунель і весь його потік поширювався назовні уздовж станції на ескалатори, а останній пасажир став на сходинку ескалатора через дві хвилини, можна стверджу-

вати, що основною роботою підрозділів пожежно-аварійної служби, які першими прибудуть на пожежу, буде рятування потерпілих. Передбачається, що вони будуть знаходитися без свідомості поруч з ескалатором. Тобто перші підрозділи будуть зайняті нетривалою (близько 5-12 хв.) роботою, пов'язаною з виносом потерпілих. Незважаючи на те, що така робота відноситься до дуже важких, можна зробити висновки, з огляду на результати аналізу легеневої вентиляції, наведені в [15], що особовий склад цих підрозділів може бути оснащений апаратами на стисненому повітрі. Тобто, до виконання всього комплексу робіт можна приступати відразу, не чекаючи прибуття спеціалізованих підрозділів, оснащених регенеративними дихальними апаратами.

Таким чином, імітаційне моделювання процесу пожежегасіння на станціях метрополітену може бути виконане за допомогою пакетів прикладних програм, що реалізують апарат  $E$ -мереж, в основі якого лежить поява маркерів у часі відповідно до зміщеного розподілу Ерланга. Для представлення вихідних даних, отриманих за допомогою експертів, доцільно перейти до розподілу Ерланга шляхом генерації на ПЕОМ безлічі часів виконання розглянутої окремої операції використовуючи обчислення зворотної функції  $\beta$ -розподілу.

Перспективним напрямком імітаційного моделювання за допомогою існуючих пакетів прикладних програм, що реалізують  $E$ -мережі, є проведення багатофакторного машинного експерименту з наступним представленням отриманих результатів у виді відповідної регресійної моделі.

1. Инструкция о порядке взаимодействия Государственной пожарной охраны и ведомственной военизированной охраны на железнодорожном транспорте по организации пожарного надзора, тушения пожара и ликвидации последствий аварий на объектах метрополитенов. – НАПБ Б. 05.014-96.- 4 с.

2. Стрелец В.М. Методы эргономической оценки деятельности личного состава подразделений пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Спец. вып. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С.60 –80.

3. Бондарев В.Ф., Семенов В.В. Имитационное моделирование боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1989. – С. 44-59.

4. Ковальов П.А., Бородич П.Ю., Стрелець В.В., Чубар С.С. Розробка пропозицій щодо вдосконалення аварійно-рятувальних робіт при надзвичайних ситуаціях в метрополітені // Право і безпека. – 2002. – №1. – С.156-161.

5. Стрелец В.М., Грицай В.Б. Статистический метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения // Право і безпека. – 2002. – №1. – С.165-171.

6. Ковалев П.А., Чучковский В.Н. Моделирование деятельности личного состава газодымозащитной службы при работе со специальной техникой // Актуальные проблемы философии, науки и современных технологий: Вестник ХГУ. Вып.388. – Харьков: ХДУ - ХИПБ, 1997. – С. 268-272

7. Слепцов А.И., Юрасов А.А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств. – К.: Техніка, 1986. – 162 с.

8. Костин А.Е. Принципы моделирования сложных дискретных систем. – М.: МИЭТ, 1983. – 107 с.

9. Пранявичус Г.В., Дземидене Д.Д. Применение Е-сетей для формализованного описания и моделирования вычислительных систем // Статистические проблемы управления. Вып.48. – Вильнюс, 1998. – С.65-85.

10. Бородич П.Ю. Особенности изменения легочной вентиляции в ходе выполнения работ по тушению пожаров на станциях метрополитена // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Вып.13. – Харьков: АПБУ, 2003. – С.60-80.

11. Стрелец В.М. Методы эргономической оценки деятельности личного состава подразделений пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Спец. вып. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С.60-80.

12. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.

13. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Наука, 1948. – 566 с.

14. Стрелец В.М. Экспертная оценка операций боевого развертывания пожарного автомобиля // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. Юб. вып. – Харьков: ХИПБ, 1998. – С.40-43.

15. Стрелец В.М., Мамон В.П., Стрелец В.В. Особенности применения пожарно-технических средств при проведении спасательных работ в метрополитене // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 27. – К.: Техніка, 2001. – С.306-311.

*Отримано 23.02.2004*

УДК 614.84 : 628.174

В.П.ОЛЬШАНСКИЙ, д-р физ.-матем. наук

*Академия гражданской защиты Украины, г.Харьков*

## **О ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПОЛОГОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СТРУИ**

Построено аналитическое решение упрощенных уравнений движения частицы жидкости в воздухе при полиномиально-квадратичной зависимости силы сопротивления от скорости потока. Показано, что полученное решение позволяет строить траектории пологих гидравлических струй и рассчитывать их параметры. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных длин струй и отмечена хорошая сходимости результатов.

Свободные гидравлические струи используют для тушения пожаров, мытья улиц и транспортных средств, полива растений и др. Поэтому их расчету уделяется должное внимание в курсах гидравлики. Аналитическое решение задачи гидродинамики, описывающее движение жидкости в воздушной среде, сопряжено со значительными математическими трудностями. В связи с этим в технических расчетах параметры струи вычисляют с помощью эмпирических соотношений, предложенных Люгером, Фриманом, Лобачевым и другими исследователями [1-3]. В них не рассматривается динамика частиц жидкости и не строится траектория их движения, а идет речь лишь об определении отдельных параметров траектории, таких как длина, радиусы действия